Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Vol. 17, No. 4, Oct- Nov 2021, p. 595-604

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۰، ص. ۶۰۴-۵۹۵

مقاله پژوهشی

بررسی فرآیند خشک شدن موسیلاژ دانه مرو (*Salvia macrosiphon* L.) با اشعه فروسرخ

غزاله امینی[1]- فخرالدین صالحی[2]*- مجید رسولی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

چکیده

دانه‌های مرو دارای مقادیر قابل‌توجهی صمغ با خواص عملکردی مناسب هستند که بعد از استخراج از دانه‌ها (موسیلاژ) و خشک کردن، می‌توانند در فرمولاسیون محصولات مختلف استفاده شوند. در این مطالعه جهت خشک‌کردن موسیلاژ دانه مرو، از روش پرتودهی فروسرخ استفاده گردید. اثر توان لامپ فروسرخ (۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات)، فاصله نمونه از لامپ (۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر) و ضخامت موسیلاژ (۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ سانتی‌متر) بر سینتیک خشک شدن موسیلاژ دانه مرو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج خشک‌کردن موسیلاژ دانه مرو با روش فروسرخ نشان داد با افزایش توان لامپ و کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع حرارتی، زمان خشک‌کردن کاهش می‌یابد. با افزایش فاصله لامپ‌ها از ۴ به ۱۲ سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو از ۷۲/۰۴ دقیقه به ۱۶۰/۸۱ دقیقه افزایش یافت. با افزایش ضخامت نمونه‌ها از ۰/۵ به ۱/۵ سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو از ۵۵/۵۹ دقیقه به ۱۷۳/۶۷ دقیقه افزایش یافت. این فرآیند توسط یک شبکه عصبی مصنوعی با چهار ورودی (زمان پرتودهی، توان لامپ، فاصله لامپ و ضخامت) و ۲ خروجی (مقدار رطوبت (MC) و نسبت رطوبت (MR)) مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۸ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی می‌تواند مقدار رطوبت و نسبت رطوبت موسیلاژ دانه مرو طی خشک‌کردن در سامانه فروسرخ را در زمان‌های مختلف پیشگویی نماید (r=۰/۹۷۴ برای مقدار رطوبت و r=۰/۹۹۷ برای نسبت رطوبت).

واژه‌های کلیدی: شبکه عصبی مصنوعی، صمغ، مقدار رطوبت، نسبت رطوبت.

مقدمه

یکی از روش‌های خشک‌کردن مواد غذایی، استفاده از تابش فروسرخ است که باعث افزایش سرعت خشک‌کردن، حفظ کیفیت محصول نهایی و کاهش هزینه‌های فرآیند به دلیل کاهش مصرف انرژی می‌شود. جذب اشعه فروسرخ توسط مولکول‌های محصول سبب گرم شدن سریع آنها و همچنین سبب کاهش تنش‌های حرارتی در محصول و در نتیجه، حفظ کیفیت و افزایش راندمان فرآیند می‌شود (Salehi, 2020c). پرتودهی با فروسرخ در مقایسه با روش‌های حرارت‌دهی متداول دارای مزایای متعددی بوده و کیفیت محصول خشک‌شده در آن بالاتر است. در این روش زمان فرایند کوتاه‌تر و میزان مصرف انرژی کمتر می‌باشد. Hebbar و همکاران (۲۰۰۴) از یک خشک‌کن ترکیبی فروسرخ با هوای داغ در سه حالت ترکیبی، فروسرخ به‌تنهایی و هوای داغ به‌تنهایی برای خشک‌کردن سیب‌زمینی و هویج استفاده کردند. نتایج به‌دست آمده حاکی از کاهش زمان خشک شدن و کاهش انرژی مصرفی در خشک‌کن ترکیبی نسبت به فروسرخ و هوای داغ بود. Doymaz (۲۰۱۲) در پژوهشی اثر تابش فروسرخ بر سینتیک خشک شدن و قابلیت جذب آب مجدد برش‌های سیب‌زمینی شیرین را مورد بررسی قرار داد. در این بررسی از چهار سطح توان تابشی ۱۰۴، ۱۲۵، ۱۴۶ و ۱۶۷ وات و سه ضخامت ورقه ۳، ۵ و ۸ میلی‌متر استفاده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش شدت تابش اشعه فروسرخ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر تأثیر توان لامپ پرتودهی، دمای هوای داغ و ضخامت نمونه‌ها بر زمان و سینتیک خشک شدن در طی خشک شدن کدوحلوایی در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط حسینی‌قابوس و همکاران (۲۰۱۶) بررسی شده و توان ۲۷۲ وات، دمای ۷۵ درجه سلسیوس و ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر به‌عنوان بهترین شرایط خشک‌کردن کدوحلوایی گزارش‌شده است.

خصوصیات عملکردی هیدروکلوئیدها (صمغ‌ها) شامل حفظ و بهبود بافت محصولات غذایی (مانند کیک اسفنجی، ماست و سس مایونز)، غلیظ‌کنندگی، تشکیل ژل و فیلم، تثبیت کف، امولسیون‌کنندگی و ایجاد دیسپرسیون‌ها می‌باشد (Salehi, 2019a, b). با توجه به اهمیت و کاربرد هیدروکلوئیدها در صنایع غذایی و قیمت بالای این محصولات، توجه به صمغ‌های گیاهی و بومی افزایش یافته و در ایران به دلیل

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
(* - نویسنده مسئول: Email: F.Salehi@Basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i4.87697

وجود منابع گیاهی، پژوهشگران به فکر جایگزینی صمغ‌های گیاهی با نمونه‌های تجاری هستند. دانه مرو (*Salvia macrosiphon* L.) دارای مقادیر قابل‌توجهی صمغ با خواص عملکردی مناسب هستند و افزودن آنها به فرمولاسیون مواد غذایی باعث بهبود خواص حسی و کیفی بافت محصول نهایی می‌شود. این دانه‌ها هنگامی که داخل آب قرار می‌گیرند، سریعاً متورم شده و مقدار زیادی موسیلاژ (صمغ محلول در آب) ایجاد می‌کنند (Zameni *et al*., 2015). به دلیل فعالیت آبی بالای موسیلاژ استخراج شده از دانه‌های گیاهی و دارا بودن شرایط مساعد برای رشد میکروارگانیسم‌ها، می‌بایست این دیسپرسیون بعد از استخراج سریع خشک شود تا علاوه بر جلوگیری از فساد و افزایش زمان ماندگاری، با کاهش وزن، در هزینه‌های حمل‌ونقل و نگهداری صرفه‌جویی حاصل گردد. لذا محققان روش‌های مختلفی را برای خشک‌کردن این موسیلاژ مورد بررسی قرار داده‌اند تا به یک محصول با کیفیت بالا دست یابند (Amid and Mirhosseini, 2012; Wang *et al*., 2009). برای خشک‌کردن موسیلاژ استخراج شده از دانه‌های گیاهی از روش‌های مختلفی شامل استفاده از خشک‌کن‌های هوای داغ، بسترسیال، مایکروویو، انجمادی، تحت خلأ و پاششی استفاده شده است (Amid and Mirhosseini, 2012; Cunha *et al*., 2000; Nep and Conway, 2011; Salehi and Kashaninejad, 2014; Sundaram and Durance, 2008). برای مثال Nep و Conway (۲۰۱۱) گزارش کردند که روش خشک‌کردن صمغ گرویا باعث تغیر خصوصیات محصول خشک شده می‌شود. همچنین صمغ خشک شده توسط هوای داغ نسبت به روش‌های خشک‌کردن انجمادی و پاششی ویسکوزیته بیشتری داشته است. همچنین عمید و میرحسینی (۲۰۱۲) اثر روش‌های خشک‌کردن شامل هوای داغ، انجمادی، پاششی و تحت خلأ را بر خصوصیات صمغ دانه Durian بررسی کرده‌اند. نتایج این محققان نشان داد که روش خشک‌کردن تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌ها و رنگ صمغ دارد.

به‌منظور مدل‌سازی فرآیندهای فرآوری مواد غذایی از قبیل خشک‌کردن و پیشگویی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم‌ها از روش‌ها و معادلات مختلفی استفاده شده است (Salehi, 2020b). مدل‌سازی فرایندهای خشک‌کردن برای طراحی، بهبود سیستم‌های موجود و حتی کنترل فرآیند انجام می‌شود. روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)[1] به‌عنوان روشی مناسب جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای فرآیندهای مختلف اعمال شده بر مواد غذایی مطرح است. شبکه‌های عصبی مصنوعی قادر به مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده با تعداد زیادی داده ورودی و خروجی می‌باشند. توانایی پیشگویی یک شبکه عصبی به ساختار آن وابستگی کامل دارد (نوع تابع فعال‌سازی، تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های لایه پنهان). تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌وسیله آزمون و خطا انجام می‌شود. برای مثال مدل‌سازی صالحی و همکاران (۲۰۱۵) به‌منظور پیشگویی کاهش وزن، کاهش آب و جذب مواد جامد، در طی خشک‌کردن اسمزی زردآلو، از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده نمودند. نتایج این محققان نشان داد که بهترین مدل برای پیشگویی پارامترهای فوق دارای ۱ لایه پنهان و ۱۴ نرون در هر لایه می‌باشد. فرآیند خشک شدن همرفتی سیر به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی توسط رسولی (۲۰۱۸) بررسی و برای این منظور شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه تحت عنوان پس انتشار پیشرو به‌کار گرفته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که مقدار رطوبت سیر را می‌توان با استفاده از شبکه عصبی، با میانگین خطای متوسط کمتر و ضریب تبیین بیشتر نسبت به مدل ریاضی ویبل پیش‌بینی کرد.

با توجه به بررسی منابع منتشر شده مشخص شد که تاکنون پژوهشی در خصوص مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن موسیلاژ دانه مرو در خشک‌کن فروسرخ صورت نگرفته است. لذا هدف این پژوهش بررسی اثر زمان پرتودهی، ضخامت نمونه، توان لامپ پرتودهی و فاصله لامپ از نمونه بر خشک‌کردن موسیلاژ و مدل‌سازی فرآیند با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

فرآیند خشک‌کردن

در این پژوهش دانه مرو از استان همدان تهیه و ناخالصی آن‌ها کاملاً جداسازی گردید. جهت استخراج موسیلاژ، ابتدا دانه‌های مرو به مدت ۲۰ دقیقه درون آب با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، در محدوده pH برابر ۷ و نسبت آب به دانه برابر ۲۰ به ۱ قرار گرفتند. سپس جهت جدا کردن صمغ خارج شده از دانه‌ها، از دستگاه آبمیوه‌گیری (M-J-376-N, Nikko Electric Industry Company، ایران) استفاده شد. برای هر مرحله از خشک‌کردن، موسیلاژ تازه استخراج و به خشک‌کن منتقل شد. در مرحله بعدی موسیلاژ استخراج شده درون ظروف مخصوص خشک‌کردن با سامانه فروسرخ با ارتفاع‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ سانتی‌متر ریخته شده و درون خشک‌کن قرار گرفت. میانگین رطوبت اولیه موسیلاژ استخراج شده ۹۹/۴٪ به‌دست آمد.

جهت خشک‌کردن موسیلاژ استخراج شده با خشک‌کن فروسرخ از متغیرهایی شامل توان‌های لامپ فروسرخ (Infrared Heat Lamp، Noor Lamp Company، ایران) در سه سطح ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات و فاصله لامپ از نمونه در سه سطح ۴، ۸ و ۱۲ سانتی‌متر استفاده شد. تغییرات وزن نمونه‌ها در طی خشک شدن هر یک دقیقه توسط ترازوی دیجیتالی (Digital balance، LutronGM-300p، تایوان) با دقت ۰/۰۱ ± گرم که در داخل خشک‌کن تعبیه شده بود، ثبت گردید.

میزان کاهش وزن (WR)[2]، از طریق معادله زیر محاسبه گردید.

1 Artificial Neural Networks (ANN)

2 Weight Reduction

$$WR = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100 \qquad (۱)$$

WR: درصد کاهش وزن موسیلاژ

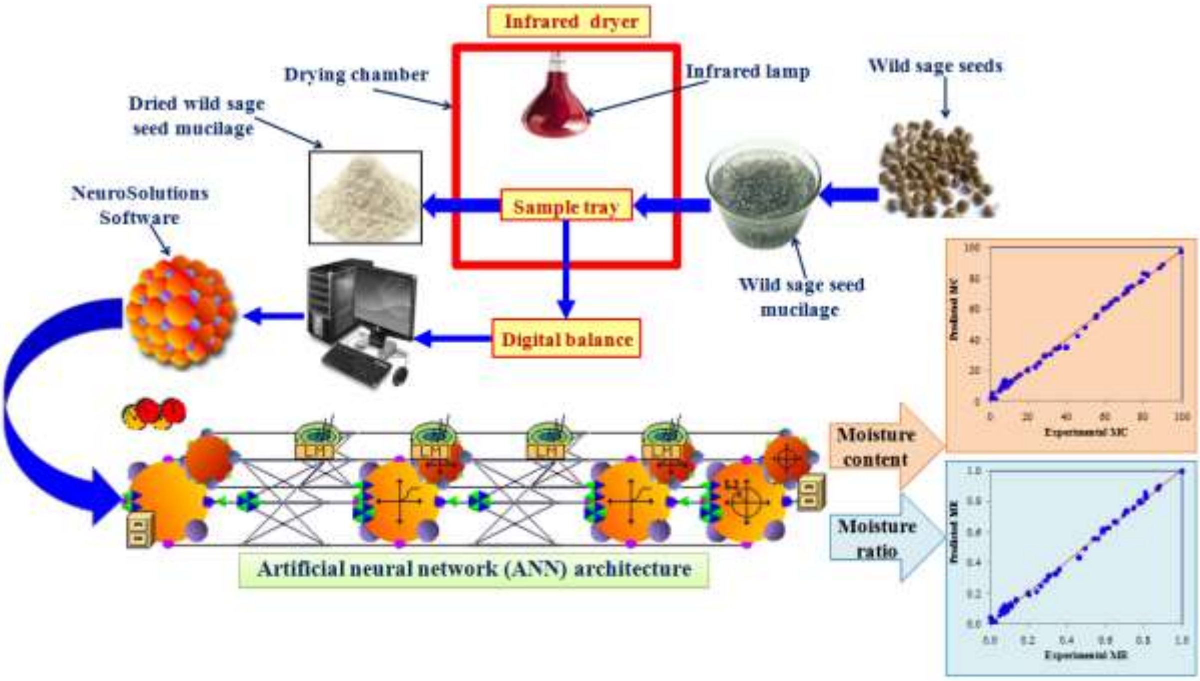
M_0: جرم اولیه نمونه (g)

M_t: جرم نمونه (g) بعد از خشک شدن بعد از زمان t

کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. تجزیه‌وتحلیل آماری در قالب فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۰۷ استفاده شد. برای تجزیه‌وتحلیل آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد. مقایسه میانگین در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن موسیلاژ دانه مرو به روش فروسرخ جهت پیشگویی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت طی زمان خشک‌کردن به روش شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی سه لایه (یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی) پرسپترون پیشخور انجام پذیرفت (Salehi and Razavi, 2012) (شکل ۱).



شکل ۱- شماتیک مدل‌سازی فرآیند خشک کردن موسیلاژ دانه مرو با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

در این مطالعه چهار ورودی (زمان پرتودهی، توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت نمونه) و دو خروجی (مقدار رطوبت و نسبت رطوبت) در نظر گرفته شد. تعداد نرون‌های لایه پنهان، وابستگی کامل به نوع کاربرد و شرایط تعیین پارامترهای شبکه دارد و در این مطالعه تعداد نرون لایه پنهان بین ۲ تا ۱۴ در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن[۱] (ورژن ۶) جهت مدل سازی استفاده شد. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (خطی، سیگموئیدی[۲] (رابطه ۲) (Salehi and Razavi, 2012) و تانژانت هیپربولیک[۳] (رابطه ۳)) (Salehi and Razavi, 2016)؛ تعداد نرون لایه پنهان (۲۵-۱)، تعداد داده های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لیونبرگ- مارکت[۴]، بهترین ساختار[۵] شبکه جهت دستیابی به شبکه بهینه بررسی شد. به‌منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده‌شده پیشگویی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی[۶] استفاده گردید. بر اساس روش آزمون‌وخطا مشخص شد در صورتی که ۳۵ درصد داده‌ها برای آموزش[۷] استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشد. ۱۵ درصد

1 Neurosolution software (Excel software release 6.0), NeuroDimension, Inc., USA
2 Sigmoid functions
3 Hyperbolic tangent function
4 Levenberg–Marquardt (LM)
5 Topology
6 Correlation coefficient (r)
7 Training data

داده‌ها هم برای آزمون[1] (اعتبارسنجی) شبکه آموزش‌دیده استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی[2] شبکه هم از باقی‌مانده داده‌ها (۵۰ درصد) استفاده گردید.

$$Sig = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (۲)$$

$$Tanh = \frac{e^{x}-e^{-x}}{e^{x}+e^{-x}} \quad (۳)$$

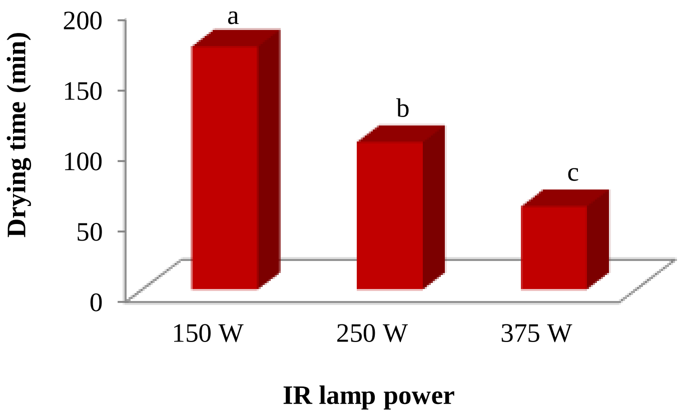
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

کلیه آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت. ارزیابی یافته‌ها با طرح فاکتوریل در قالب کاملاً تصادفی موردبررسی قرار گرفت. برای رسم نمودارها از برنامه اکسل ۲۰۰۷ و برای تجزیه‌وتحلیل آماری از نرم‌افزار SAS 9.1 در سطح معنی‌داری ۵٪ استفاده شد.

نتایج و بحث

خشک‌کردن

جهت بررسی اثر توان لامپ فروسرخ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو، از سه لامپ فروسرخ با توان‌های ۱۵۰، ۲۵۰ و ۳۷۵ وات استفاده گردید. با افزایش دمای هوای خشک‌کن با افزایش توان لامپ پرتودهی و کاهش فاصله آن، آنتالپی هوا افزایش یافته و افزایش آنتالپی میزان انتقال جرم و حرارت افزایش می‌یابد که باعث کاهش زمان خشک شدن می‌شود (Nimmol, 2010; Pan *et al.*, 2008). نتایج نشان داد که تغیر توان لامپ اثر معنی‌داری (P<۰/۰۵) بر خروج آب از موسیلاژ دانه مرو دارد و با افزایش توان لامپ، زمان خشک شدن کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، به‌طور میانگین با افزایش توان لامپ از ۱۵۰ به ۳۷۵ وات، زمان خشک شدن از ۱۷۲/۰۴ دقیقه به ۵۸/۹۳ دقیقه (حدود ۶۵/۷۵ درصد) کاهش یافته است.



شکل ۲- تاثیر توان لامپ فروسرخ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو

نتایج حکایت از معنی‌دار بودن (P<۰/۰۵) اثر تغییر فاصله لامپ از نمونه‌ها، بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو دارد و با افزایش فاصله لامپ، زمان خشک شدن افزایش یافت (شکل ۳). با کاهش فاصله لامپ‌ها از ۱۲ به ۴ سانتی‌متر، به‌طور میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو از ۱۶۰/۸۱ دقیقه به ۷۲/۰۴ دقیقه (حدود ۵۵/۲۰ درصد) کاهش یافت. فدایی و همکاران (۲۰۲۰) ویژگی‌های خرمالو خشک شده با استفاده از خشک‌کن فروسرخ و مدل‌سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان‌داد که توان لامپ پرتودهی و فاصله لامپ از نمونه تأثیر معنی‌داری بر سینتیک افت رطوبت و زمان خشک کردن دارند. همچنین با افزایش توان پرتودهی و همچنین کاهش فاصله نمونه‌ها از منبع پرتودهی، زمان خشک کردن کاهش یافت.

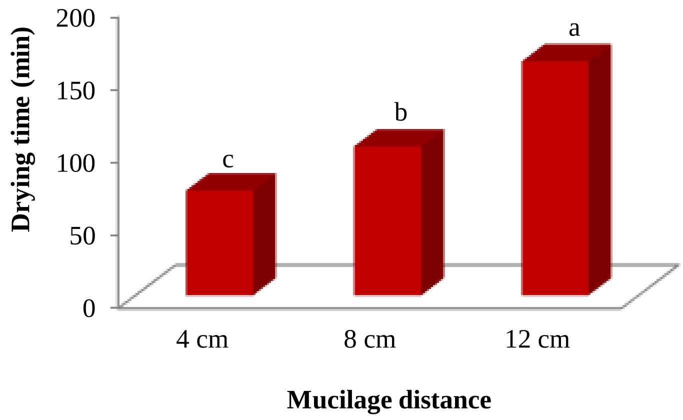
در شکل ۴ اثر ضخامت موسیلاژ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو درون خشک‌کن فروسرخ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با کاهش ضخامت نمونه‌ها از ۱/۵ به ۰/۵ سانتی‌متر، میانگین زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو از ۱۷۳/۶۷ دقیقه به ۵۵/۵۹ دقیقه (حدود ۶۷/۹۹ درصد) کاهش یافت.

افزایش دمای سطح محصول منجر به افزایش تحرک مولکول‌های آب و در نتیجه مهاجرت آسان‌تر این مولکول‌ها از بخش‌های داخلی به سطح محصول می‌شود. افزایش دما از یک طرف باعث افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا به دلیل افزایش اختلاف دما بین هوا و محصول شده و از طرف دیگر باعث گرم شدن سریع‌تر محصول و تبخیر بهتر آب از آن می‌شود و در نهایت باعث کاهش زمان خشک شدن می‌گردد (Doymaz and Pala, 2003). Sharma و همکاران (۲۰۰۵) بیان

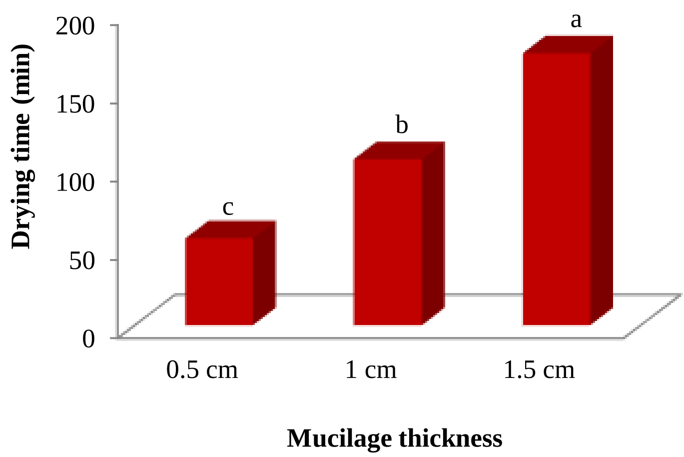
1 Validating data

2 Testing data

نمودند در خشک کردن لایه نازک قطعات پیاز با استفاده از خشک‌کن فروسرخ و هوای داغ، با تغییر توان فروسرخ از ۳۰۰ به ۵۰۰ ولت، افزایش دمای هوا از ۳۵ به ۴۵ درجه سلسیوس و افزایش سرعت جریان هوا از یک به ۱/۵ متر بر ثانیه، زمان خشک شدن ۲/۵ برابر کاهش پیدا کرد



شکل ۳- تاثیر فاصله موسیلاژ از لامپ فروسرخ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو



شکل ٤- تاثیر ضخامت موسیلاژ بر زمان خشک شدن موسیلاژ دانه مرو

نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

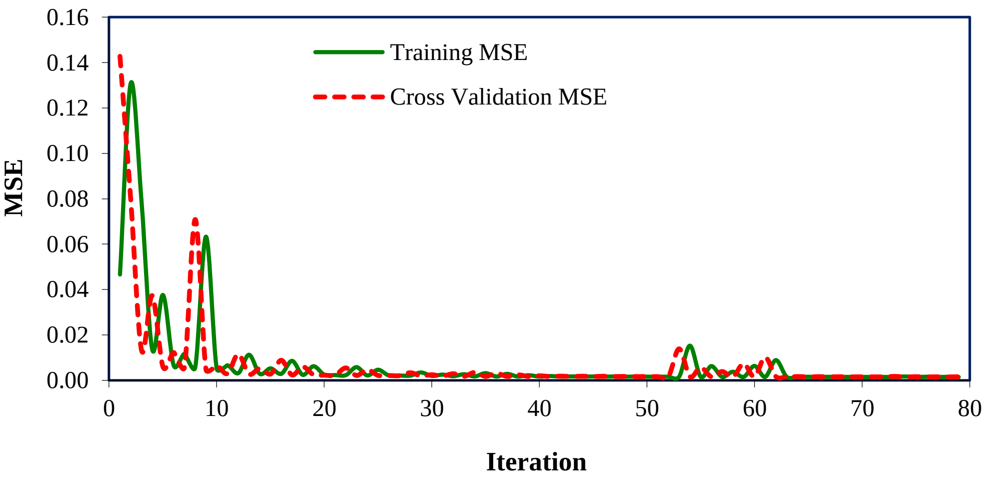
به‌منظور پیشگویی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت موسیلاژ دانه مرو در طی خشک‌کردن به روش فروسرخ از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردید. زمان پرتودهی، توان لامپ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت موسیلاژ به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و مقدار رطوبت و نسبت رطوبت به‌عنوان خروجی‌های شبکه انتخاب گردیدند. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی سیگموئیدی به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید.

برای تعیین تعداد نرون‌های لایه پنهان، به‌ترتیب تعداد نرون‌ها از ۲ تا ۱۴ انتخاب و برای هر یک شبکه‌ای طراحی و بعد از آموزش و ارزیابی، نتایج مربوط به هر یک از این شبکه‌ها در جدول ۱ گزارش گردید. در این جدول مقادیر میانگین خطای مربعات (MSE)؛ میانگین خطای مربعات نرمال شده (NMSE)؛ میانگین خطای مطلق (MAE)؛ حداقل خطای مطلق (MinE)؛ حداکثر خطای مطلق (MaxE) و ضریب همبستگی (r) برای ۲ تا ۱۴ نرون استفاده شده در ساختار شبکه عصبی مصنوعی گزارش شده است. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود، شبکه عصبی مصنوعی دارای ۸ نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت در طی فرآیند خشک‌کردن موسیلاژ دانه مرو به روش فروسرخ را پیشگویی نماید (r=۰/۹۷۴ برای مقدار رطوبت و r=۰/۹۹۷ برای نسبت رطوبت).

مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل‌های تشکیل شده، در شکل ۵ به نمایش در آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در همان نسل‌های اول مقدار خطا کاهش می‌یابد و بعد از تشکیل حدود ۶۴ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی می‌رسد. کاهش سریع در نمودار میانگین مربعات خطا در سیکل‌های اولیه آموزش نشان از یادگیری سریع شبکه می‌باشد که این از ویژگی‌های شناخته شده روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکت می‌باشد (Bahramparvar *et al.*, 2014).

جدول ۱- مقادیر خطای محاسبه شده توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش بینی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت

تعداد نرون‌ها	مقدار رطوبت						نسبت رطوبت					
	MSE	NMSE	MAE	MinE	MaxE	r	MSE	NMSE	MAE	MinE	MaxE	r
۲	۱۶۹/۰۲۴	۰/۱۵۱	۸/۵۹۴	۰/۰۰۳	۹۶/۹۳۷	۹۲۲/۰	۰/۰۱۴	۰/۱۲۰	۰/۰۸۳	۰/۰۰۰	۰/۷۱۲	۰/۹۳۸
۳	۷۴/۳۰۳	۰/۰۶۶	۴/۱۰۲	۰/۰۰۱	۱۰۰/۲۵۰	۹۶۶/۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۳۵	۰/۰۰۰	۰/۲۶۱	۰/۹۸۹
۴	۶۸/۹۱۹	۰/۰۶۲	۳/۶۰۲	۰/۰۰۶	۱۰۰/۱۳۲	۹۶۹/۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۳۰	۰/۰۰۰	۰/۲۵۱	۰/۹۹۲
۵	۶۲/۸۸۸	۰/۰۵۶	۲/۸۷۶	۰/۰۰۰	۱۰۰/۵۶۵	۹۷۲/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰	۰/۱۸۵	۰/۹۹۵
۶	۶۱/۰۸۶	۰/۰۵۵	۲/۸۴۳	۰/۰۰۳	۱۰۲/۴۰۴	۹۷۲/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰	۰/۱۹۸	۰/۹۹۵
۷	۵۹/۸۵۴	۰/۰۵۳	۲/۳۱۵	۰/۰۰۰	۱۰۱/۴۹۲	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۱۸۷	۰/۹۹۷
۸	**۵۸/۳۶۵**	**۰/۰۵۲**	**۲/۰۹۲**	**۰/۰۰۰**	**۱۰۰/۷۳۹**	**۹۷۴/۰**	**۰/۰۰۱**	**۰/۰۰۶**	**۰/۰۱۵**	**۰/۰۰۰**	**۰/۱۹۰**	**۰/۹۹۷**
۹	۵۹/۱۱۸	۰/۰۵۳	۲/۲۷۹	۰/۰۰۲	۱۰۰/۳۰۲	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۲۲۳	۰/۹۹۷
۱۰	۵۹/۴۵۲	۰/۰۵۳	۲/۲۵۹	۰/۰۰۲	۱۰۰/۰۷۶	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰	۰/۱۹۷	۰/۹۹۷
۱۱	۵۹/۰۵۲	۰/۰۵۳	۲/۲۵۷	۰/۰۰۰	۱۰۰/۸۰۶	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۱۸۹	۰/۹۹۷
۱۲	۶۰/۱۴۱	۰/۰۵۴	۲/۱۵۸	۰/۰۰۰	۱۰۰/۹۵۴	۹۷۳/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۱۹۵	۰/۹۹۷
۱۳	۵۸/۸۵۱	۰/۰۵۳	۲/۰۹۶	۰/۰۰۱	۹۹/۰۱۶	۹۷۲/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۵	۰/۰۰۰	۰/۲۱۰	۰/۹۹۷
۱۴	۵۹/۵۹۰	۰/۰۵۳	۲/۰۶۹	۰/۰۰۲	۱۰۰/۹۱۷	۹۷۰/۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰	۰/۲۰۸	۰/۹۹۷

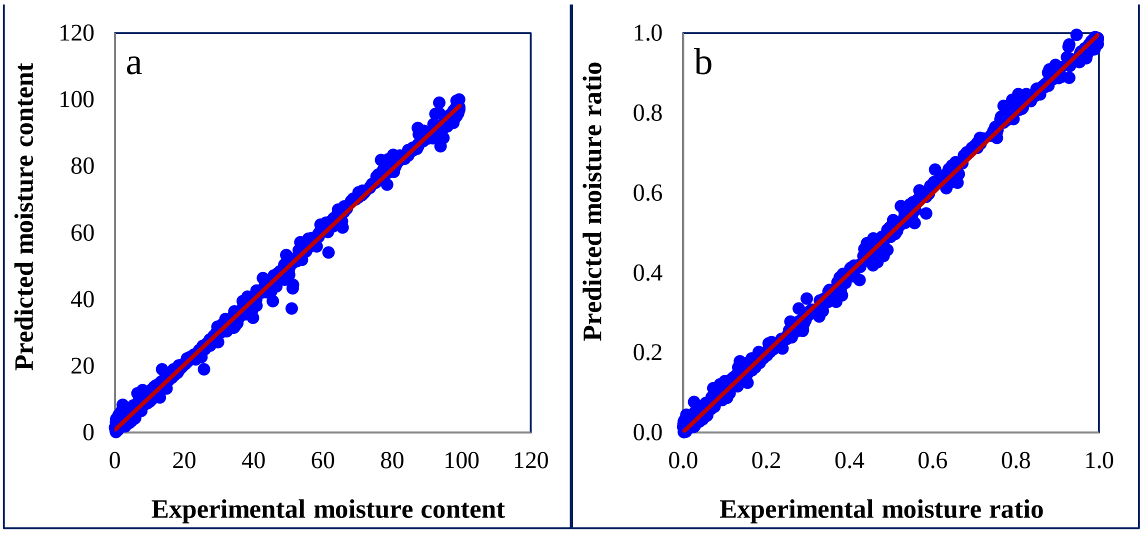


شکل ۵- مقادیر میانگین خطای مربعات (MSE) به‌عنوان تابعی از تعداد سیکل‌های یادگیری در طول آموزش و آزمون

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی (۵۰ درصد داده استفاده نشده توسط شبکه) و پیشگویی شده مقدار رطوبت و نسبت رطوبت طی فرآیند خشک شدن موسیلاژ دانه مرو توسط شبکه عصبی بهینه (۴/۸/۲) در شکل ۶ نشان داده شده است. مقدار بالای ضریب همبستگی نشان‌دهنده کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. صالحی و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی مدل‌سازی فرآیند خشک‌کردن اسمزی زردآلو با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. ساختارهای مختلف شبکه عصبی چند لایه پرسپترون برای پیشگویی انتقال جرم زردآلو آبگیری شده را مورد آزمون قرار دادند و نتایج گزارش شده نشان داد شبکه‌ای با تعداد ۱۴ نرون در یک لایه پنهان به‌خوبی درصد کاهش وزن (R^2=۰/۹۸)، درصد کاهش آب (R^2=۰/۹۷) و مقدار جذب مواد جامد (R^2=۰/۹۶) در طی فرآیند خشک‌کردن اسمزی زردآلو را پیشگویی نماید. این مدل می‌تواند به‌منظور تولید محصولی با کیفیت مطلوب، طراحی مناسب تجهیزات فرآوری و

بهینه‌سازی فرآیند مورد استفاده قرار گیرد (Salehi *et al.*, 2015). فدایی و همکاران (۲۰۲۰) ویژگی‌های خرمالو خشک شده با استفاده از خشک‌کن فروسرخ و مدل‌سازی فرآیند به روش الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان‌داد که با استفاده از شبکه‌ای با تعداد ۱۵ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک و در صد داده‌های مورد استفاده برای تربیت/ آزمون / ارزیابی برابر ۶۰/۲۰/۲۰ می‌توان به‌خوبی سینتیک خشک کردن خرمالو را پیشگویی نمود.

هدف از فرآیند آموزش شبکه عصبی مصنوعی به دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۲، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه عصبی دارای ۸ نرون در لایه پنهان آورده شده است.



شکل ٦- داده‌های آزمایشگاهی مقدار رطوبت (a) و نسبت رطوبت (b) در برابر مقادیر پیش بینی شده

جدول ۲- داده‌های وزن و بایاس شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده (۲-۸-۴)

نرون‌های پنهان	بایاس	نرون‌های ورودی				نرون‌های خروجی	
		زمان (دقیقه)	توان (وات)	فاصله (سانتی‌متر)	ضخامت (سانتی‌متر)	مقدار رطوبت	نسبت رطوبت
۱	۲/۸۲۷۸	۱۹/۸۸۲۸	−۳۲/۴۰۵۶	−۱۴/۹۱۸۰	−۱/۲۸۵۰	۱/۰۸۳۴	−۲۸/۵۰۹۱
۲	۰/۴۳۷۶	۱۲/۸۷۸۳	−۱/۲۴۴۷	۱/۷۳۱۲	۱/۹۲۹۷	۲۳/۷۱۱۱	−۶/۴۰۵۰
۳	۱/۶۴۱۱	−۲/۲۶۸۰	−۲/۱۴۳۸	۴/۰۳۹۰	۱/۴۲۴۵	−۲۲/۳۱۸۶	۲۱/۳۴۴۷
٤	۹/۹۷۲۷	۳/۵۲۷۱	۰/۴۶۷۸	−۱۲/۷۵۴۸	۱/۷۵۰۸	−۱۰/۹۹۷۵	۱/۰۵۳۴
۵	−۲/۴۱۶۱	۳/۷۰۱۲	۰/۸۰۱۹	۱/۸۸۰۲	۱/۱۱۲۹	۱/۱۷۵۰	−۳۰/۳۹۳۸
٦	−۱/۴۱۰۳	۱/۹۵۱۹	۰/۶۹۵۰	۰/۱۰۹۸	۲/۱۴۷۱	۲۵/۰۷۱۵	−۶/۶۶۰۸
۷	−۱/۲۰۴۸	−۱/۴۶۸۳	−۲/۰۳۰۷	−۳/۴۱۰۶	۲/۱۹۰۹	−۲۳/۰۳۵۱	۲۲/۱۵۸۴
۸	۲/۲۴۷۰	−۲۶/۰۴۸۲	−۱/۱۹۲۹	۴/۸۲۰۲	۱۰/۸۶۵۷	−۱۱/۲۷۴۸	۱/۰۴۴۵
بایاس						۹/۵۶۰۸	۱۰/۱۸۲۸

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر زمان پرتودهی، توان لامپ فروسرخ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت بر خشک‌کردن موسیلاژ دانه مرو به روش فروسرخ مورد بررسی قرار گرفت. سه متغیر اصلی ذکر شده (توان لامپ، فاصله لامپ و ضخامت نمونه) بر مقدار خروج آب و زمان خشک شدن مؤثر بودند. با افزایش توان لامپ فروسرخ و کاهش فاصله نمونه از لامپ، مقدار رطوبت خارج‌شده از نمونه‌ها افزایش و زمان خشک شدن کاهش یافت. مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی جهت پیشگویی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت به‌عنوان تابعی از زمان پرتودهی، توان لامپ فروسرخ، فاصله نمونه از لامپ و ضخامت موسیلاژ دانه مرو (ورودی‌های شبکه

در طی خشک‌کردن به روش فروسرخ استفاده گردید. نتایج نشان داد شبکه‌ای دارای ۸ نرون در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی سیگموئیدی در لایه پنهان و خروجی، و با استفاده از روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوت، به‌خوبی قادر به پیشگویی مقدار رطوبت و نسبت رطوبت با ضریب همبستگی بالا (r=۰/۹۷۴ برای مقدار رطوبت و r=۰/۹۹۷ برای نسبت رطوبت) می‌باشد.

منابع

Aktaş, M., Sözen, A., Amini, A., Khanlari, A. 2017. Experimental analysis and CFD simulation of infrared apricot dryer with heat recovery. *Drying Technology*, 35(6), 766-783.

Amid, B.T., Mirhosseini, H. 2012. Influence of different purification and drying methods on rheological properties and viscoelastic behaviour of durian seed gum. *Carbohydrate Polymers*, 90(1), 452-461.

Bahramparvar, M., Salehi, F., Razavi, S. 2014. Predicting total acceptance of ice cream using artificial neural network. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(3), 1080–1088.

Cunha, R.L., Maialle, K.G., Menegalli, F.C. 2000. Evaluation of the drying process in spouted bed and spout fluidized bed of xanthan gum: focus on product quality. *Powder Technology*, 107(3), 234-242.

Doymaz, İ. 2012. Infrared drying of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) slices. *Journal of Food Science and Technology*, 49(6), 760-766.

Doymaz, I., Pala, M. 2003. The thin-layer drying characteristics of corn. *Journal of Food Engineerin*g, 60(2), 125-130.

Fadaie, M., Hosseini Ghaboos, S.H., Beheshti, B. 2020. Characterization of dried persimmon using infrared dryer and process modeling using genetic algorithm-artificial neural network method. *Journal of Food Science and Technology*, 17(100), 189-199.

Hebbar, H.U., Vishwanathan, K., Ramesh, M. 2004. Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65(4), 557-563.

Hosseini Ghaboos, S.H., Seyedain Ardabili, S.M., Kashaninejad, M., Asadi, G., Aalami, M. 2016. Changes in the physico-chemical and engineering parameters of pumpkin (*C. moschata*) with infrared drying method. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 8(8), 93-102.

Nep, E.I., Conway, B.R. 2011. Physicochemical characterization of grewia polysaccharide gum: Effect of drying method. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 446-453.

Nimmol, C. 2010. Vacuum far-infrared drying of foods and agricultural materials. The Journal of the King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 20, 37-44.

Pan, Z., Shih, C., McHugh, T.H., Hirschberg, E. 2008. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *LWT-Food Science and Technolog*y, 41(10), 1944-1951.

Rasouli, M. 2018. Convective drying of garlic (*Allium sativum* L.): Artificial neural networks approach for modeling the drying process. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 14(3), 53-62.

Salehi, F. 2017. Rheological and physical properties and quality of the new formulation of apple cake with wild sage seed gum (*Salvia macrosiphon*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 2006-2012.

Salehi, F. 2019a. Characterization of new biodegradable edible films and coatings based on seeds gum: A review. *Journal of Packaging Technology and Researc*h, 3(2), 193-201.

Salehi, F. 2019b. Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review. *Food science & nutrition*, 7(11), 3391-3402.

Salehi, F. 2020a. Edible coating of fruits and vegetables using natural gums: A review. *International Journal of Fruit Science*, 1(1), 1-20.

Salehi, F. 2020b. Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits and vegetables during postharvest storage: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 506-520.

Salehi, F. 2020c. Recent applications and potential of infrared dryer systems for drying various agricultural products: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 586-602.

Salehi, F., Abbasi Shahkoh, Z., Godarzi, M. 2015. Apricot osmotic drying modeling using genetic algorithm - artificial neural network. *Journal of Innovation in Food Science and Technology*, 7(1), 65-76.

Salehi, F., Kashaninejad, M. 2014. Effect of different drying methods on rheological and textural properties of balangu seed gum. *Drying Technology*, 32(6), 720-727.

Salehi, F., Kashaninejad, M. 2017. Effect of drying methods on textural and rheological properties of basil seed gum. *International Food Research Journal*, 24(5), 2090-2096.

Salehi, F., Razavi, S.M.A. 2012. Dynamic modeling of flux and total hydraulic resistance in nanofiltration treatment of regeneration waste brine using artificial neural networks. *Desalination and Water Treatment*, 41(1-3), 95-104.

Salehi, F., Razavi, S.M.A. 2016. Modeling of waste brine nanofiltration process using artificial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Desalination and Water Treatment*, 57(31), 14369-14378.

Sharma, G., Verma, R., Pathare, P. 2005. Mathematical modeling of infrared radiation thin layer drying of onion slices. *Journal of food engineering*, 71(3), 282-286.

Sundaram, J., Durance, T.D. 2008. Water sorption and physical properties of locust bean gum–pectin–starch composite gel dried using different drying methods. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1352-1361.

Wang, Y., Wang, L.-J., Li, D., Xue, J., Mao, Z.-H. 2009. Effects of drying methods on rheological properties of flaxseed gum. *Carbohydrate Polymers, 78*(2), 213-219.

Zameni, A., Kashaninejad, M., Aalami, M., Salehi, F. 2015. Effect of thermal and freezing treatments on rheological, textural and color properties of basil seed gum. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5914-5921.

Zhang, Y., Wang, S., Ji, G., Phillips, P. 2014. Fruit classification using computer vision and feedforward neural network. *Journal of Food Engineering*, 143, 167-177.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 4, Oct- Nov 2021, p. 595-604

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، مهر- آبان ۱۴۰۰، ص. ۶۰۴-۵۹۵

Investigation of wild sage seed mucilage drying process (*Salvia macrosiphon* L.) with infrared radiation

Gh. Amini[1], F. Salehi[2*], M. Rasouli[3]

Received: 2020.07.11
Accepted: 2020.08.24

Introduction: The dispersion of water soluble hydrocolloids (gums) in the aqueous system provides great technical importance, because they can improve the gel or enhance the thickening properties of food products. Wild sage seeds have significant amounts of gum with good functional properties that after extracting from seeds (mucilage) and drying, can be used in formulation of various products (Salehi, 2017, 2020a). The physicochemical properties and rheological behaviour of seed gums depend on the method and condition of drying. Also, the color of dried product is an important quality factor, which is affected by drying conditions (Amid and Mirhosseini, 2012; Nep and Conway, 2011). For example, effect of different drying methods (oven drying (40-80°C), freeze drying and vacuum oven drying) on rheological behaviour, color and physicochemical characteristics of BSM were investigated by Salehi and Kashaninejad (2017). Drying is one of the simply available and the most common processing approach that has been used traditionally for preservation of food product. One of the best way to reduce the drying time is to use IR radiation heating. IR methods could be used as substitution to the current drying methods for producing high-quality dried hydrocolloids. IR heating has many advantages include high heat transfer rate, uniform heating, low processing time, high efficiency (80-90%), lower energy consumption, lower energy costs, and improves final product quality (Aktaş et al., 2017; Salehi, 2020c). The performance of artificial neural networks (ANN) as an analytical alternative to conventional modeling techniques was reported by some researchers. They reported that these approaches are able to estimate the drying kinetics of various fruits and vegetables with high precision. It has been shown that nonlinear approaches based on ANN are far better in generalization and estimation in comparison to empirical models (Bahramparvar et al., 2014; Salehi, 2020b; Zhang et al., 2014). It is difficult to predict the combined effects of treatment time, IR power, lamp distance and mucilage thickness on drying kinetics (moisture content and moisture ratio) of fruits and vegetables using conventional models. Therefore, the target of this study was to investigate the effect of IR dryer parameters on moisture content and moisture ratio of wild sage seed mucilage during IR drying and studying the performance of ANN method for estimation of these parameters.

Materials and methods: Wild sage seeds was physically cleaned and all foreign stuffs were removed. Then, the pure wild sage seeds were immersed in water for 20 min at a seed/water ratio of 1:20 at 25°C and pH = 7. In the next step, the gum was separated from the inflated seeds by passing the seeds through an extractor (M-J-376-N, Nikko Electric Industry Company, Iran) with a rotating disc which scratches the mucilage layer on the seed surface. The initial moisture content (MC) of WSSM was 99.4% (wet basis). Finally, the obtained WSSM was immediately placed into IR dryer. In this study, for wild sage seed mucilage drying, infrared radiation (IR) method was used. The effect of infrared lamp power (150, 250 and 375 W), distance of samples from lamp (4, 8 and 12 cm) and mucilage thickness (0.5, 1 and 1.5 cm) on drying time of wild sage seed mucilage were investigated.

Results and Discussion: The results of wild sage seed mucilage drying using infrared method presented that by increasing the lamp power and decreasing the sample distance from the heat source, drying time was decreased. With lamp distance increasing from 4 to 12 cm, the average drying time of wild sage seed mucilage increased from 72.04 minutes to 160.81 minutes. When it comes to sample thickness, we found that by increasing the thickness of mucilage (0.5 to 1.5 cm) drying time of sample increased from 55.59 to 173.67 min. The process was modeled by an artificial neural network with 4 inputs (radiation time, lamp power, lamp distance and thickness) and 2 output (moisture content (MC) and moisture ratio (MR)). The results presented that mucilage drying time significantly increased by decreasing power of lamp (375 up to 150 W) and increasing the heat source distance from sample (4 to12 cm). The results of artificial neural network modeling showed that the network with 8 neurons in a hidden layer and with using the sigmoid activation function could predict the moisture content and moisture ratio of wild sage seed mucilage during infrared drying in various times (r=0.974 for MC and r=0.997 for MR).

Keywords: Artificial neural network, Moisture content, Moisture ratio, Gum.

1, 2 and 3. MSc Student, Associate Professor and Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
(*Corresponding Author Email: F.Salehi@Basu.ac.ir)